

незначительно. Охлаждение пилы струей водо-воздушной смеси или воды (расход воды – 4,5 и 18 кг/ч) дают близкие результаты и снижают температурный перепад по радиусу диска примерно в 6 раз – до приемлемых значений, не вызывающих резонанса, и дают потери от работы пилой плоской формы равновесия в самых тяжелых условиях работы.

Предпочтение следует отдавать охлаждению пил водо-воздушной смесью, так как расход воды снижается в 4 раза по сравнению с охлаждением водой. Это может иметь значение при работе зимой. При распиловке бруса высотой 150 мм при ширине пропила 4 мм со скоростью 20 м/мин и расходе воды 5 кг/ч на пилу влажность опила увеличится всего на 1,5 %.

И даже такое незначительное увеличение влажности опила можно сократить внедрением несложной автоматики, которая будет регулировать содержание воды в водо-воздушной смеси в зависимости от мощности резания, прямо влияющей на нагрев пильного диска.

### Библиографический список

1. Стахийев, Ю. М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил / Ю. М. Стахийев. – Москва : Лесная промышленность, 1977. – 296 с.
2. Красиков, А. С. Экспериментальная установка для исследования тепловых полей и коэффициентов теплоотдачи вращающихся охлаждаемых дисков пил / А. С. Красиков // Вопросы резания, надежности и долговечности дереворежущих инструментов и машин : Межвузовский сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1979. – Вып. 5. – С. 55–57.

УДК 674.053:621.933.6

**В. М. Кириченко, С. Н. Исаков, В. Г. Новоселов**  
(V. M. Kirichenko, S. N. Isakov, V. G. Novoselov)  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)  
E-mail для связи с авторами: kvmek@mail.ru

### **МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЙ РАСЧЕТ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИЛЬНОЙ РАМКИ ТАРНОЙ ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ РТ-40**

### **MULTIDISCIPLINARY CALCULATION OF DEFORMED STATE OF SAW FRAME ELEMENTS OF CONTAINER SAWMILL FRAME RT-40**

*Классические методы расчета не дают адекватного описания деформированного состояния элементов пильной рамки тарной лесопильной рамы РТ-40. Сделано предположение о деформации натяжного клина, приводящей к «выпучиванию» боковин поперечин. Использование мультидисциплинарных методов позволило подтвердить эту гипотезу.*

*Classical calculation methods do not adequately describe the deformed state of the saw frame elements of the container sawmill frame RT-40. An assumption was made about the deformation of the tension wedge, which leads to the "bulging" of the side bars. The use of multidisciplinary methods has confirmed this hypothesis.*

Экспериментальными исследованиями [1] установлено сложное деформированное состояние боковин поперечин пильной рамки тарной лесопильной рамы РТ-40 с

«выпучиванием» их верхних поясов под действием сил натяжения пил. Расчет классической рамной конструкции по методике Л. А. Шабалина и В. Ф. Виноградова [2], основанной на теории Верещагина–Мора, не дает адекватного отражения этого явления, кроме того значения напряжений и деформаций существенно различаются с экспериментальными данными. Проверка устойчивости плоской формы изгиба боковин поперечин пильной рамки [3] показала, что при рассмотрении плоской схемы нагружения у них имеется значительный запас устойчивости. Было выдвинуто предположение о деформации натяжного клина под действием силы натяжения пилы и о перераспределении давления на контактную поверхность, в результате чего возникает горизонтальная составляющая, способствующая выпучиванию боковин. Смоделированная расчетная схема [4] подтвердила такую возможность. Учитывая несостоятельность методов классической статики для адекватного определения деформированного состояния пильной рамки, был применен мультидисциплинарный метод [5].

Для расчета пильной рамки в программе «КОМПАС-3D» (рис. 1) смоделированы верхняя 1 и нижняя 2 поперечины, стойки 3, пилы 4 с клиновым механизмом натяжения 5. Пила устанавливается в захваты верхние 6 и нижние 7. Возвратно-поступательный привод крепится в цапфах 8.

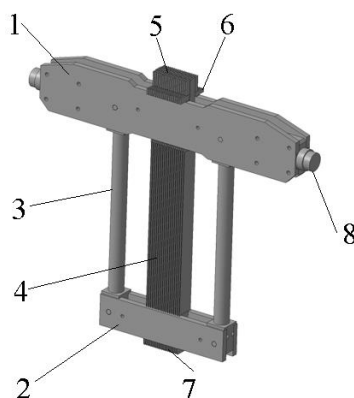


Рис. 1. Модель пильной рамки

Для расчета всей модели, со всеми особенностями взаимодействия её элементов потребовались бы очень большие вычислительные мощности, поэтому принято решение разбить её на части и рассчитывать их отдельно. Но даже в этом случае расчет некоторых элементов (на компьютере Intel Core Duo CPU E 655, 2.33 ГГц) потребовал до четырех часов расчетного времени, а размер расчетных файлов достигал 2,9 ГБ.

Упрощенная модель представлена на рисунке 2, которая создана в программе «КОМПАС 3D». Расчет производился в программе ANSYS, которая основана на методе конечных элементов. На рисунке 3 представлена конечно-элементная модель пильной рамки.

Закрепление модели производилось за цапфы, а усилие натяжения 18 пил моделировалось сжимающей распределенной нагрузкой (216 кН) на боковинах поперечин закрепления пил. Нагрузки рассчитывались из условия натяжения пилы 12 кН. Все контактирующие поверхности заданы как контактные, с коэффициентом трения 0,2. Поля перемещений в горизонтальных и вертикальных направлениях представлены на рисунках 4 и 5. Перемещения конструкции масштабированы для лучшей визуализации. Числовые результаты расчетов сведены в таблицу 1.

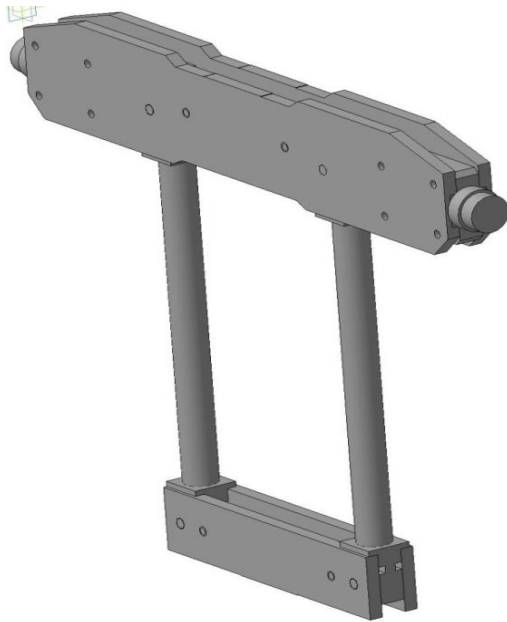


Рис. 2. Твёрдотельная модель

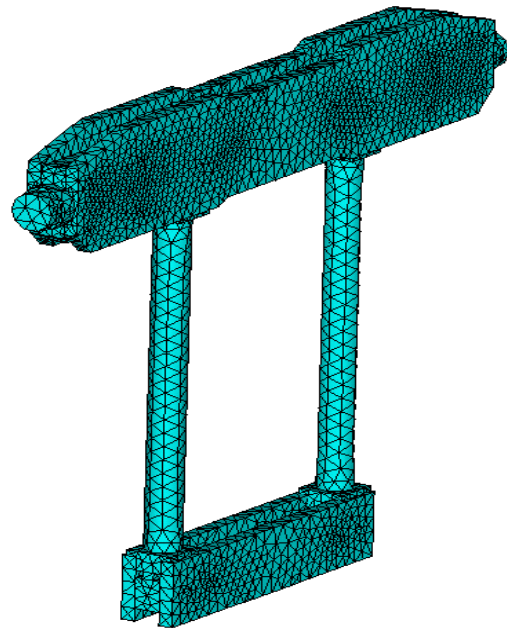


Рис. 3. Конечно-элементная модель

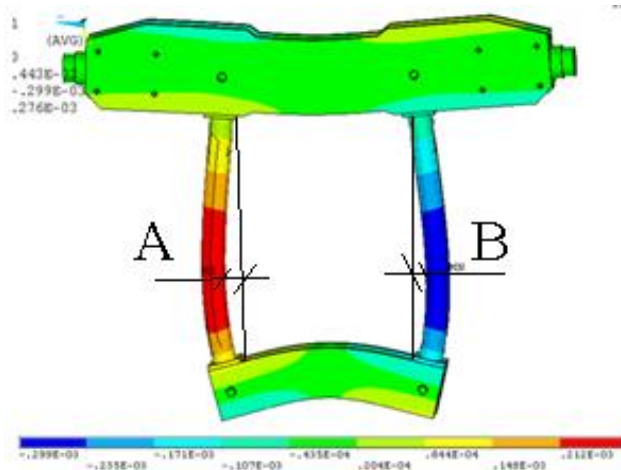


Рис. 4. Поля горизонтальных перемещений элементов конструкции от натяжения пил

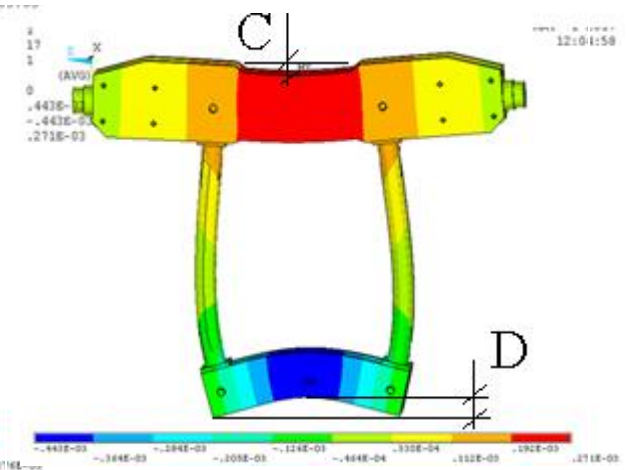


Рис. 5. Поля вертикальных перемещений элементов конструкции от натяжения пил

Таблица 1

Сравнительная таблица перемещений

Измеряемая величина	Горизонтальные перемещения, мм		Вертикальные перемещения, мм	
	A	B	C	D
Расчетные значения	0,28	0,3	0,27	0,44
Экспериментальные значения	0,11	0,11	0,17	0,42

Эквивалентные напряжения в конструкции представлены на рисунке 6.

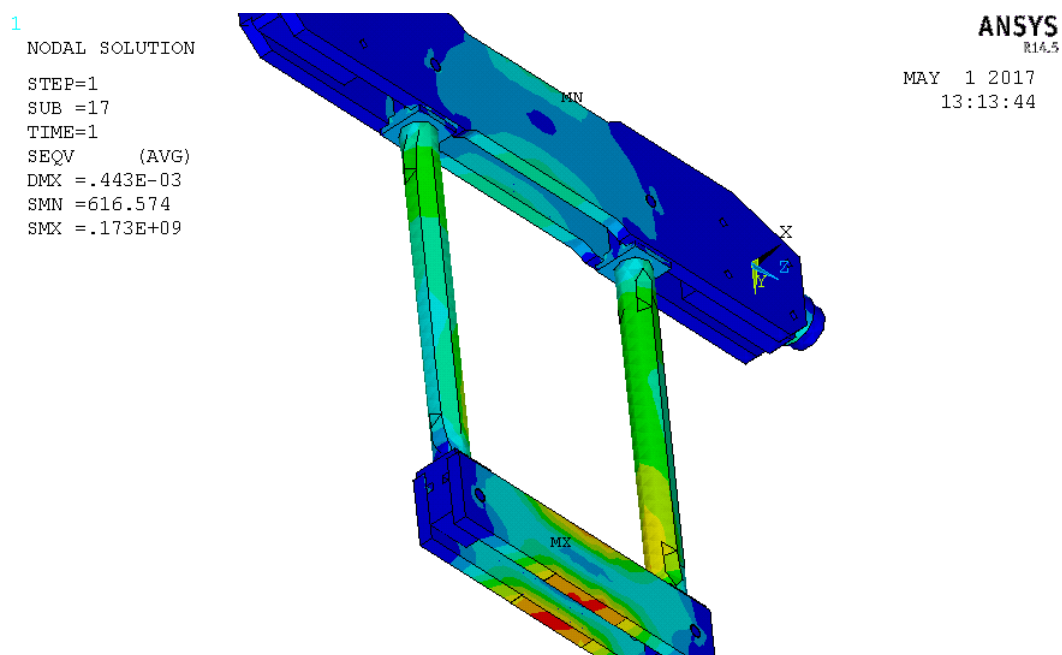


Рис. 6. Поля напряжений в пильной рамке от усилий натяжения пил

Для расчета верхней траверсы в программе «КОМПАС 3D» создана твердотельная модель (рис. 7, а), которая импортировалась в программу ANSYS, и создавалась конечно-элементная модель (рис. 7, б). На рисунке 7, в показан фрагмент конечно-элементной сетки.

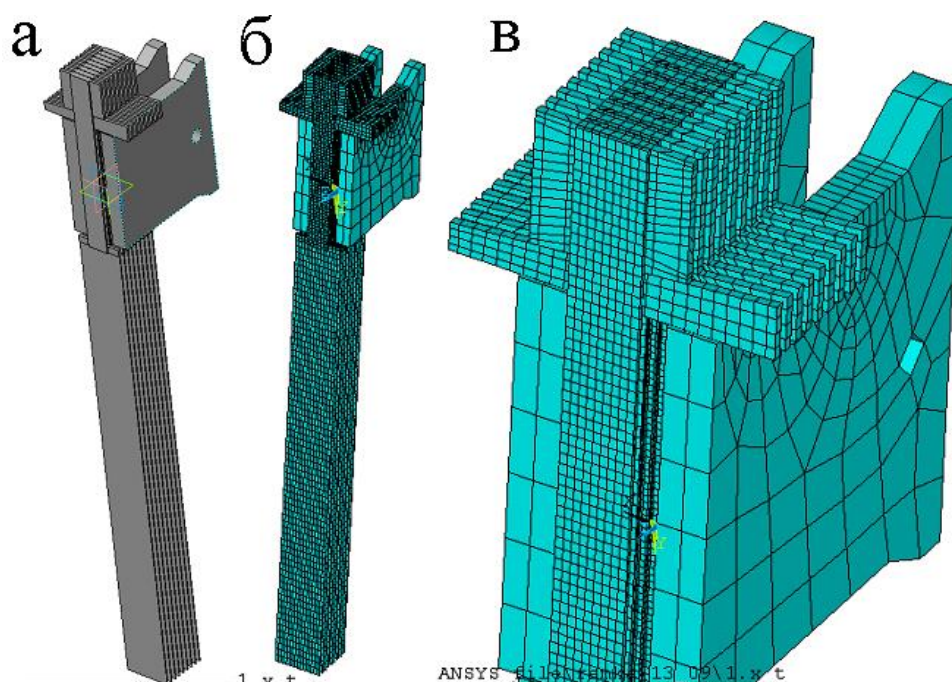


Рис. 7. Моделирование верхней траверсы: а – твердотельная модель; б – конечно-элементная модель; в – фрагмент конечно-элементной модели

Особенностью этого расчета являются два этапа нагружения модели. Первый этап моделирует процесс забивания клина в натяжной механизм, который моделируется заданием давления на торцевые поверхности клиньев. При этом клин натягивает пилу, а

вся конструкция смещается в сторону приложения силы. Происходит скольжение клина в натяжном механизме и по верхним поверхностям балок траверсы.

На втором этапе расчета происходит снятие торцевой нагрузки с клиньев, в первом деформированном состоянии, и вся конструкция возвращается в равновесное положение, при этом происходит взаимное неодинаковое перемещение поперечин траверсы.

При исследовании модели расчет производился при трех значениях коэффициента трения: 0,1; 0,2 и 0,3. При этом усилия вдавливания клина пересчитывалось для каждого коэффициента трения для обеспечения заданного натяжения пилы (12 кН). Для оценки адекватности приведенной методики расчетные перемещения поперечин сравнивались с экспериментальными значениями, полученными на реальной лесопильной раме от натяжении пил [1].

Расчет представлен в виде полей перемещений стенок поперечин (рис. 8) (для примера – для коэффициента трения 0,2). На рисунке 9 для отображения качественных и количественных значений перемещения представлена схема с условными обозначениями.

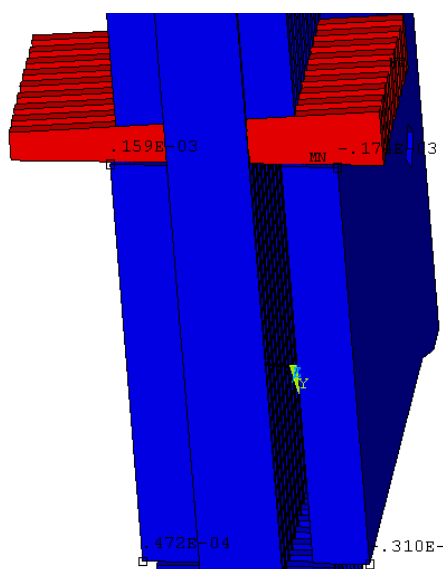


Рис. 8. Поля перемещений при коэффициенте трения 0,2

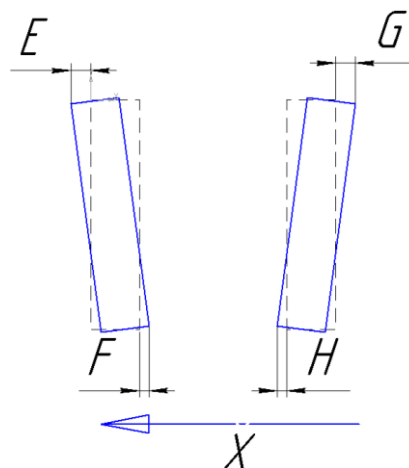


Рис. 9. Схема измерения перемещений конструкции

В таблицу 2 сведены расчетные перемещения поперечин при различных коэффициентах трения, а также экспериментально измеренные их значения.

Таблица 2

Расчетные и экспериментальные перемещения верхней поперечины при её нагружении

Точки замеров (в соотв. с рис. 9)		<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
Расчетные перемещения (вдоль оси X) при различных коэффициентах трения, мм	0,1	0,08	0,029	-0,075	-0,026
	0,2	0,16	0,04	-0,17	-0,03
	0,3	0,18	0,048	-0,21	-0,026
Экспериментально измеренные перемещения, мм		0,26	0,02	0,28	0,02

Результаты расчета можно представить в виде полей распределения напряжений в конструкции, которые представлены на рисунке 10.

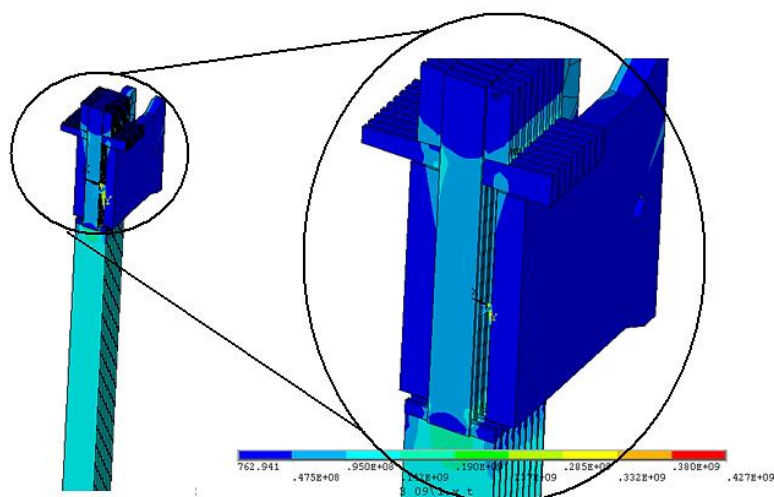


Рис. 10. Поля напряжений

Твердотельная модель также была создана в программе «КОМПАС 3D», которая представлена на рисунке 11, а её конечно-элементная модель показана на рисунке 12.

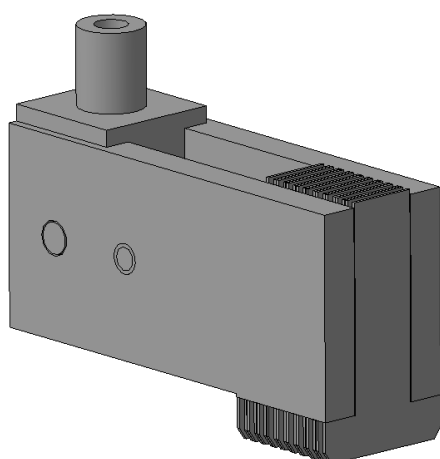


Рис. 11. Твердотельная модель нижней траверсы

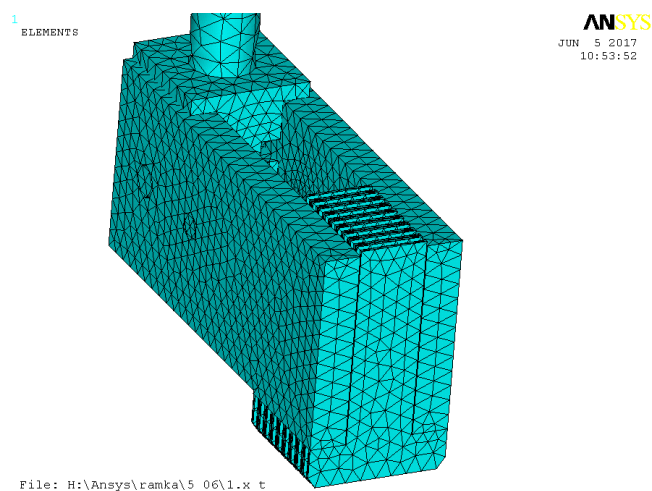


Рис. 12. Конечно-элементная модель

Все совпадающие поверхности различных деталей заданы как контактные, с коэффициентом трения 0,25. Модель закрепляется за упор стойки. Сила натяжения каждой пилы задана 12 кН, приложена к нижнему захвату и направлена вверх.

Поля перемещений элементов нижней поперечины представлены на рисунках 13 и 14, в таблице 3.

Таблица 3

Расчетные и экспериментальные перемещения балок нижней поперечины при её нагружении

Контрольные точки	<i>I</i>	<i>J</i>
Расчетные значения в контрольных точках при нагружении поперечины, мм	0,069	0,07
Экспериментальные замеры перемещений, мм	0,135	0,135



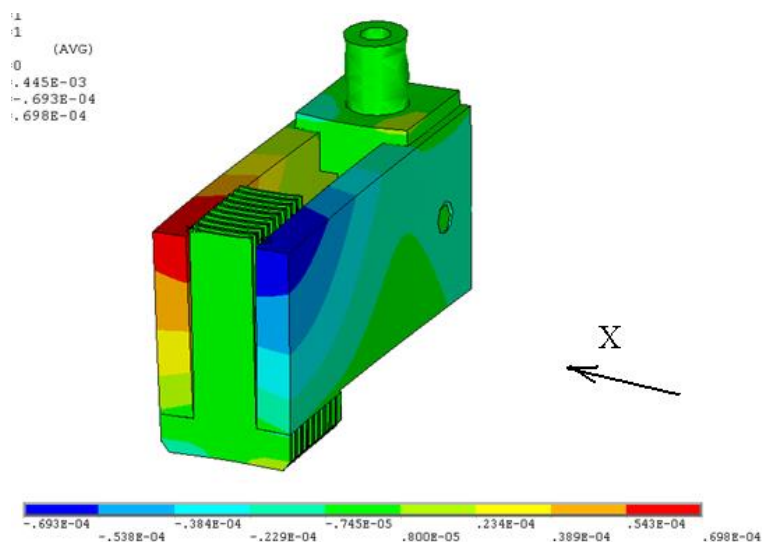


Рис. 13. Поля перемещений

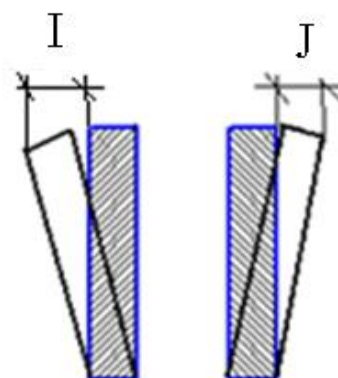


Рис. 14. Схема перемещения балок нижней поперечины

В модели хорошо видно раскрытие стыка между нижним захватом пилы и боковинами поперечины вследствие деформации нижней поперечины при её нагружении (рис. 15). Посчитаны напряжения в конструкции, которые представлены на рисунке 17.

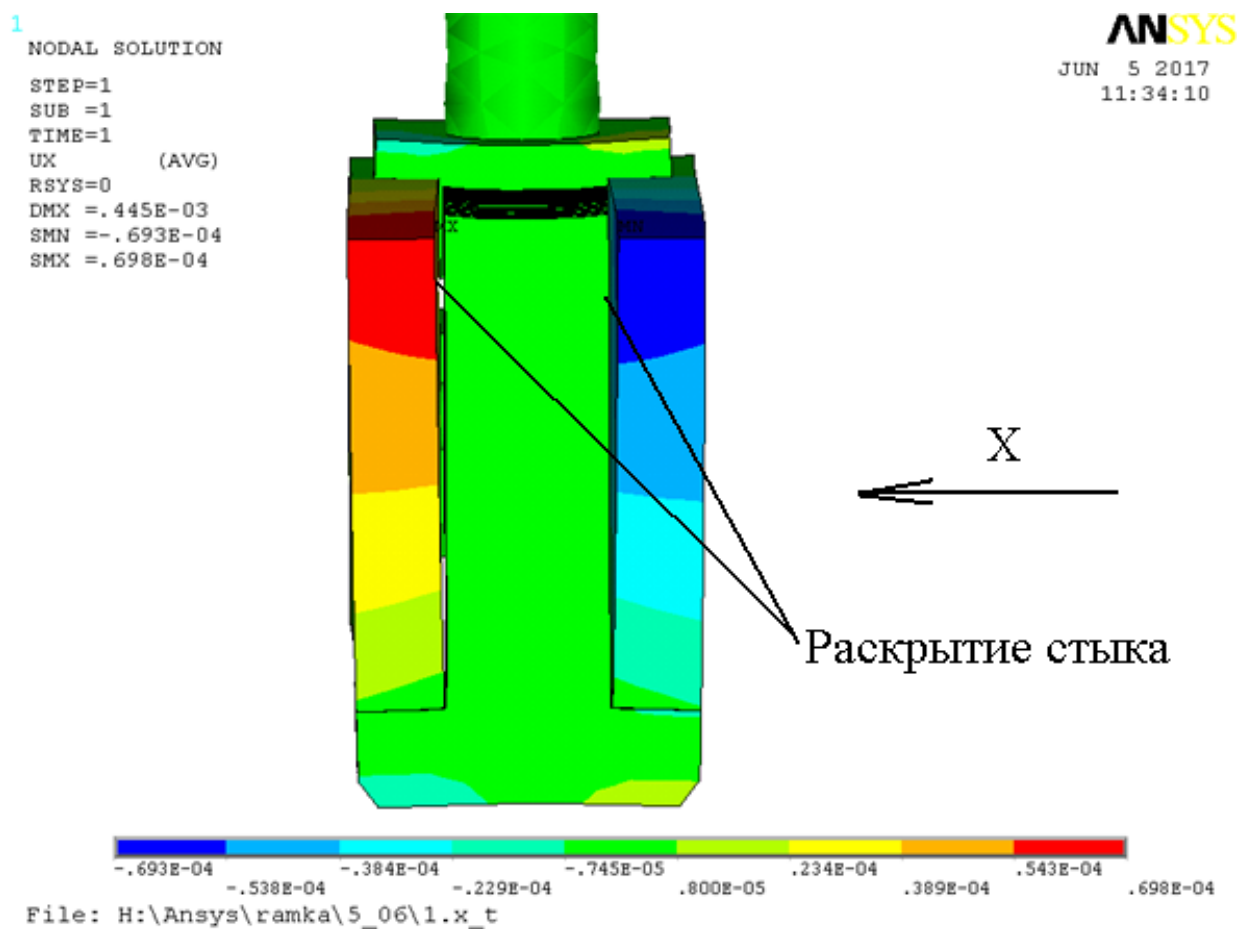


Рис. 16. Поля перемещений элементов нижней поперечины

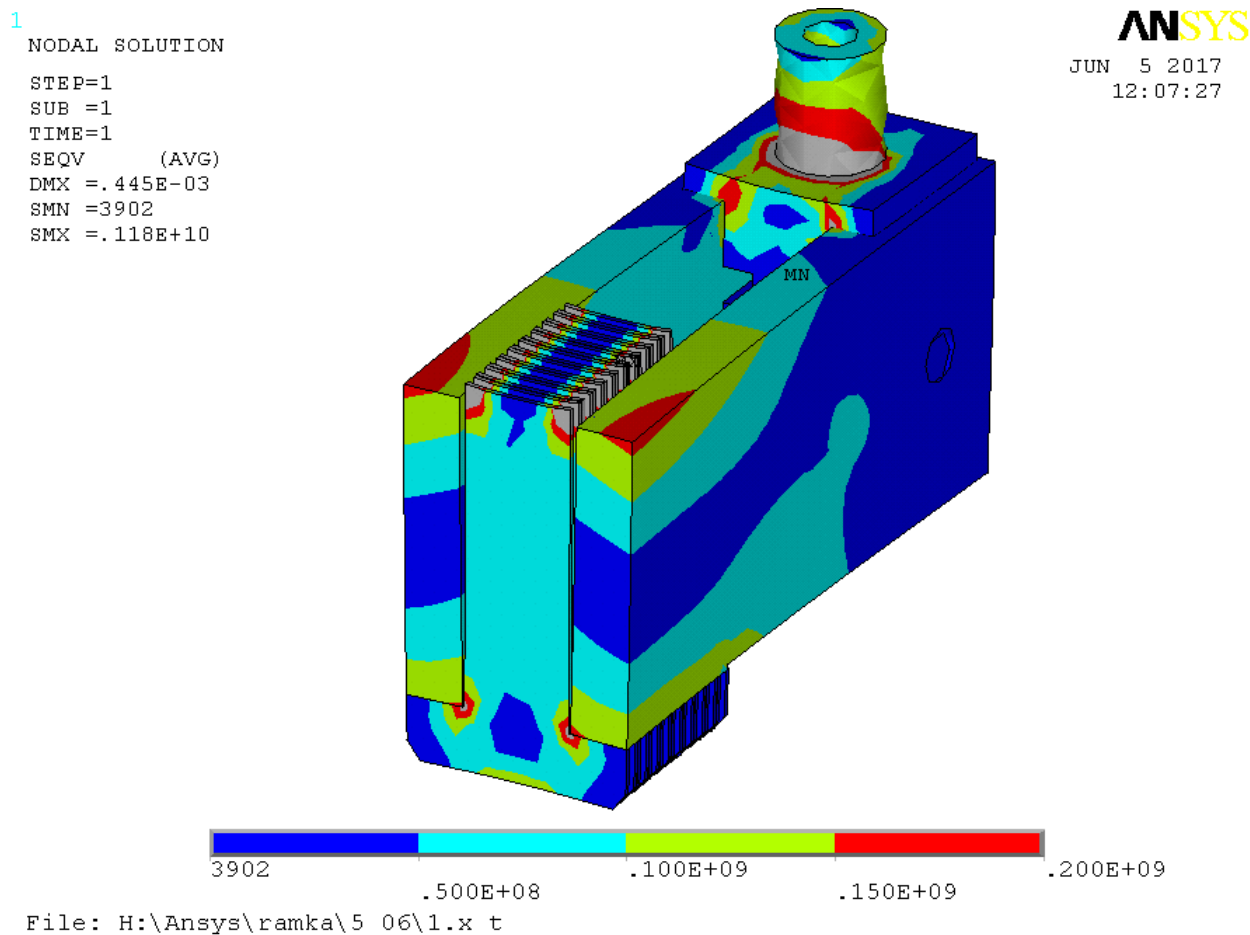


Рис. 17. Поля напряжений в нижней поперечины при её нагружении

Мультидисциплинарный метод расчета подтвердил предположение о перераспределении давлений на опорных поверхностях боковин поперечин и появлении вследствие этого их выпучивания. Также была установлена нежесткость соединения поперечин со стойками, возникновение контактных деформаций и частичное раскрытие стыков, ослабляющее напряженность элементов пильной рамки. Предотвратить выпучивание боковин поперечин пильной рамки можно с помощью захватов специальной конструкции [6].

### Библиографический список

1. Кириченко, В. М. Деформация элементов пильной рамки тарной лесопильной рамы / В. М. Кириченко, Л. А. Шабалин // Деревообработка : технологии, оборудование, менеджмент XXI века : Труды VII Международн. евразийск. симпозиума / под научной ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. – С. 254–257.
2. Кириченко, В. М. О нагруженности в напряженном состоянии пильной рамки тарной лесопильной рамы / В. М. Кириченко, В. Г. Новоселов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2018. – № 1. – С. 7–11.
3. Кириченко, В. М. Устойчивость плоской формы изгиба боковин поперечин пильной рамки / В. М. Кириченко, В. Г. Новоселов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : мат-лы XIV Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург : УГЛТУ, 2018. – С. 107–109.



4. Кириченко, В. М. Причины объемной деформации боковин поперечин пильной рамки тарной лесопильной рамы / В. М. Кириченко, В. Г. Новоселов // Деревообработка : технологии, оборудование, менеджмент XXI века : Труды XII Международн. евразийск. симпозиума / под науч. ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. – С. 139–146.

5. Бесплатные междисциплинарные инженерные расчеты "multiphysics" в ANSYS AIM. – URL : <https://multiphysics.ru/stati/novosti/besplatnye-inzhenernye-raschety-multiphysics-v-ansys-aim.htm>.

6. Кириченко, В. М. Модернизированные верхние захваты тарных рамных пил / В. М. Кириченко, Л. А. Шабалин, В. Г. Новоселов // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы : социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : мат-лы XI Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – С. 67–70.

УДК 62-752.6, 608.4

**В. В. Побединский<sup>1</sup>, А. В. Берстнев<sup>2</sup>, Е. В. Побединский<sup>3</sup>, А. А. Сюзько<sup>1</sup>**

(V. V. Pobedinskij<sup>1</sup>, A. V. Berstenev<sup>2</sup>, E. V. Pobedinskij<sup>3</sup>, A. A. Syuz'ko<sup>1</sup>)

(<sup>1</sup>УГЛТУ, <sup>2</sup>КБ «Новатор», <sup>3</sup>УрГАУ, г. Екатеринбург, РФ)

Е-mail для связи с авторами: pobed@el.ru, berstenevandr@mail.ru,  
e.pobed@mail.ru, syuzko.andrey@mail.ru

## **АВТОМАТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМАЯ ПОДВЕСКА ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЯ**

### **AUTOMATICALLY CONTROLLED SUSPENSION OF A FOREST CAR**

*Рассмотрена проблема создания автоматически управляемой подвески колеса автомобиля. На основе анализа условий эксплуатации и аварийности лесовозных автомобилей показана актуальность задачи совершенствования существующей конструкции. Предложено принципиально новое конструктивное решение подвески пневмогидравлического исполнения. Доказана работоспособность конструкции и в сравнении с существующими аналогами показаны ее преимущества, которые заключаются в обеспечении плавности хода путем автоматической стабилизации положения подвесочных масс (кузова) при копировании колесом микропрофиля поверхности дорожного полотна, а также в повышении безопасности движения, управляемости, надежности и комфортности при движении. Предложенная конструкция может использоваться не только в лесовозах, но и в автомобилях любого типа.*

*The problem of creating automatically controlled car wheel suspension is considered. Based on the analysis of operating conditions and accident rates of timber trucks, the urgency of the task of improving the existing structure is shown. A fundamentally new design solution for pneumatic-hydraulic suspension is proposed. The design is proven to be operable and its advantages in comparison with existing analogues, which consists in ensuring a smooth ride by automatically stabilizing the position of the sprung masses (body) when copying the microprofile surface of the road surface by the wheel, as well as improving driving safety, handling, reliability and driving comfort. The proposed design can be used not only in timber trucks, but also in cars of any type.*

В конструкции колес транспортного средства подвеска является ответственной частью, от которой зависят все ходовые качества машины и, в первую очередь,